

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-149477

(P2003-149477A)

(43) 公開日 平成15年5月21日 (2003.5.21)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G 0 2 B 6/12		H 0 1 S 3/16	2 H 0 4 7
H 0 1 S 3/16		G 0 2 B 6/12	N 5 F 0 7 2
			Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2001-349361(P2001-349361)

(22) 出願日 平成13年11月14日 (2001. 11. 14)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 須佐 信彦

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日

本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100077481

弁理士 谷 義一 (外1名)

Fターム (参考) 2H047 KA03 KB08 LA18 RA08 TA01

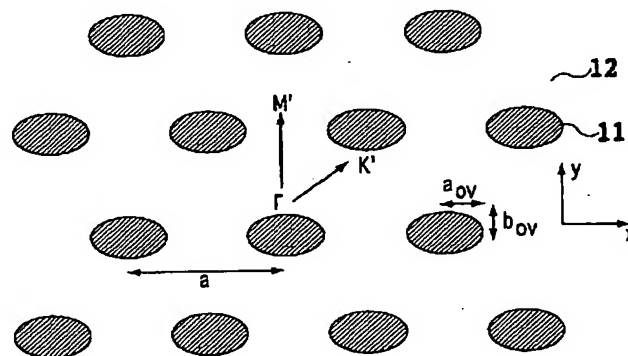
5F072 AK10

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶

(57) 【要約】

【課題】 偏波無依存のフォトニックバンドギャップが大きく、高屈折率部分の屈折率を大きくしてもフォトニックバンドギャップが飽和したり減少したりしないフォトニック結晶を提供すること。

【解決手段】 複数の高屈折率媒体を低屈折率媒質中に周期的に配列するに際し、三角配列の格子点に屈折率の大きな楕円柱を配列した構造、又は、正方格子の格子点に屈折率の小さな正方形柱を配列しその格子間位置に屈折率の小さな円柱を配列した構造を採用した。これにより、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが大きく、かつ、高屈折率部分の屈折率を大きくしてもバンドギャップの飽和や減少が生じないフォトニック結晶を提供することが可能となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の高屈折率媒体が低屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、

前記高屈折率媒体は楕円柱の形状を有し、

該高屈折率媒体の任意の楕円柱の周りには、柱方向に延びる楕円柱の中心線が相互に距離  $a$  だけ離隔して 6 本の高屈折率媒体の楕円柱が平行に配置され、かつ、前記楕円柱の中心線と直交する断面である楕円面の長短軸方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されており、

前記楕円面の短軸長  $b_{ov}$  と長軸長  $a_{ov}$  の比  $b_{ov}/a_{ov}$  を 0.35 乃至 0.80 とし、かつ、前記距離  $a$  と前記  $a_{ov}$  の比  $a_{ov}/a$  を 0.32 乃至 0.50 としたことを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項 2】 複数の低屈折率媒体が高屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、

正方形柱の複数の第 1 の低屈折率媒体と円柱の複数の第 2 の屈折率媒体とを備え、

前記第 1 の低屈折率媒体の任意の正方形柱の周りには、柱方向と直交する XY 方向の四方の各々に、距離  $a$  だけ離隔して第 1 の低屈折率媒体の正方形柱が平行に配置され、かつ、前記第 1 の低屈折率媒体の柱方向と直交する断面である正方形の対角線方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されており、

前記第 2 の低屈折率媒体は、前記第 1 の低屈折率媒体相互間の中央に該第 1 の低屈折率媒体と平行に配置され、前記正方形の対角線長  $r_1$  と前記距離  $a$  との比  $r_1/a$  を 0.5 乃至 1.0 とし、

前記正方形の対角線方向と前記 X 方向との成す角度が 0 度を除く  $\pm 20$  度以内の範囲にあることを特徴とするフォトニック結晶。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、フォトニック結晶に関し、より詳細には、偏波無依存で、かつ、フォトニックバンドギャップの大きなフォトニック結晶に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 フォトニック結晶は、90 度以上急峻に湾曲させても光損失の少ない微小光導波路や、欠陥モードのフォトニック結晶レーザや、微小光共振器等のデバイスに用いられる誘電体周期構造を有する結晶であり、これらのデバイスでは、フォトニック結晶が特定の波長領域の光を透過させないという、いわゆる「フォトニックバンドギャップ」と呼ばれる性質を利用している。

【0003】 図 9 は、従来のフォトニック結晶の結晶構造のひとつである蜂の巣構造を説明するための図で、図中の黒丸部分が高屈折率部分 91、白色部分が低屈折率

部分 92 にそれぞれ対応しており、高屈折率部分 91 が周期的に配列されて屈折率変調構造を構成している。この蜂の巣構造のフォトニック結晶は、偏波無依存で、かつ、フォトニックバンドギャップが現れるという光学特性を有する。

【0004】 フォトニックバンドギャップを利用して動作するデバイスでは、フォトニックバンドギャップの幅が広がると動作波長帯域も広がるため、欠陥型レーザにおいては不要な自然放出光が抑制されてレーザの閾値利得が低減できるという利点を備え、更に、フォトニックバンドギャップが偏波に依存せずに存在すれば、偏波無依存のデバイスを得ることが可能となる点で実用上極めて重要である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図 9 に示したような蜂の巣構造を有する従来のフォトニック結晶のフォトニックバンドギャップは小さく、蜂の巣構造を構成する高屈折率部分の屈折率を大きくしてバンドギャップを大きくしたとしても、この部分の屈折率が 3.50 以上とすると結晶のフォトニックバンドギャップは逆に減少してしまうという現象が生じる。従って、この蜂の巣構造で最大のフォトニックバンドギャップを与える、屈折率 3.50 の誘電体と屈折率 1.00 の空気とで構成したフォトニック結晶でも、規格化したバンドギャップ ( $\Delta\omega/\omega_0$ :  $\Delta\omega$  はバンドギャップに相当する周波数、 $\omega_0$  はギャップ中心の周波数) は高々 0.0954 という小さな値に留まってしまう。

【0006】 このように、従来の構造のフォトニック結晶では、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが小さく、かつ、高屈折率部分の屈折率を上げてバンドギャップを大きくしようとしても限界があるという問題があった。

【0007】 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが大きく、高屈折率部分の屈折率を大きくしてもフォトニックバンドギャップが飽和したり減少したりしないフォトニック結晶を提供することにある。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】 本発明は、このような目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明は、複数の高屈折率媒体が低屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、前記高屈折率媒体は楕円柱の形状を有し、該高屈折率媒体の任意の楕円柱の周りには、柱方向に延びる楕円柱の中心線が相互に距離  $a$  だけ離隔して 6 本の高屈折率媒体の楕円柱が平行に配置され、かつ、前記楕円柱の中心線と直交する断面である楕円面の長短軸方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されており、前記楕円面の短軸長  $b_{ov}$  と長軸長  $a_{ov}$  の比  $b_{ov}/a_{ov}$  を 0.

3.5乃至0.80とし、かつ、前記距離 $a$ と前記 $a_{ov}$ の比 $a_{ov}/a$ を0.32乃至0.50としたことを特徴とする。

【0009】また、請求項2に記載の発明は、複数の低屈折率媒体が高屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、正方形柱の複数の第1の低屈折率媒体と円柱の複数の第2の屈折率媒体とを備え、前記第1の低屈折率媒体の任意の正方形柱の周りには、柱方向と直交するXY方向の四方の各々に、距離 $a$ だけ離隔して第1の低屈折率媒体の正方形柱が平行に配置され、かつ、前記第1の低屈折率媒体の柱方向と直交する断面である正方形の対角線方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されており、前記第2の低屈折率媒体は、前記第1の低屈折率媒体相互間の中央に該第1の低屈折率媒体と平行に配置され、前記正方形の対角線長 $r_1$ と前記距離 $a$ との比 $r_1/a$ を0.5乃至1.0とし、前記正方形の対角線方向と前記X方向との成す角度が0度を除く $\pm 20$ 度以内の範囲にあることを特徴とする。

【0010】

【発明の実施の形態】以下に、図面を参照して本発明の実施の形態について説明する。

【0011】（実施例1）図1は、本発明のフォトニック結晶の構成例を説明するための図で、黒色部分が高屈折率部分11である楕円柱状の誘電体、白色部分が低屈折率部分12である空気で構成されており、フォトニック結晶内の3角格子点位置に高屈折率の楕円柱を配置し、これら楕円柱の中心は3角格子点位置の中心に一致するように配列されている。また、図1中には、楕円柱の断面である楕円の長軸長と短軸長およびこれらの方位、並びに、結晶方位 $\Gamma-M'$ と $\Gamma-K'$ の方向も併せて示しており、図中、 $a$ はフォトニック結晶の格子定数、 $a_{ov}$ と $b_{ov}$ はそれぞれ楕円の長軸（X軸）及び短軸（Y軸）の長さを意味する。なお、図1は、フォトニック結晶中の楕円柱列を真上から眺めた図であって、これらの楕円柱は格子定数 $a$ の4倍以上の高さを有している。

【0012】すなわち、このフォトニック結晶は、複数の高屈折率媒体が低屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、高屈折率媒体は楕円柱の形状を有し、高屈折率媒体の任意の楕円柱の周りには、柱方向に延びる楕円柱の中心線が相互に距離 $a$ だけ離隔して6本の高屈折率媒体の楕円柱が平行に配置され、かつ、楕円柱の中心線と直交する断面である楕円面の長短軸方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されて構成されている。

【0013】図2は、図1に示した構造のフォトニック結晶において楕円柱の屈折率が3.50の場合の規格化周波数と楕円柱の短長軸比 $b_{ov}/a_{ov}$ の関係を説明するための図で、縦軸には、エネルギーに相当する量であ

る規格化周波数（ $\omega a/2\pi c$ ： $\omega$ は光の角周波数、 $c$ は真空中の光速、 $a$ はフォトニック結晶の格子定数）をとり、横軸には、楕円の短軸 $b_{ov}$ と長軸 $a_{ov}$ の比をとってプロットしてある。なお、ここで、楕円の長軸 $a_{ov}$ と格子定数 $a$ の比（ $a_{ov}/a$ ）は0.40と設定されている。

【0014】図2において、実線で囲まれた領域は、TMモード（電界ベクトルが楕円柱の上下（紙面に垂直）方向の軸に平行な偏波）に対するフォトニックバンドギャップに対応し、破線で囲まれた領域は、TEモード（磁界ベクトルが楕円柱の上下の軸に平行）に対するフォトニックバンドギャップに対応する。また、斜線で示された領域は、TMモードとTEモードに共通なフォトニックバンドギャップに対応する領域であって、偏波無依存のフォトニックバンドギャップ領域を意味する。この図から明らかなように、 $b_{ov}/a_{ov}$ が0.35～0.80の範囲にあれば、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが存在し得ることとなる。

【0015】図3は、図1に示した構造のフォトニック結晶において楕円柱の屈折率を3.50とし、 $b_{ov}/a_{ov}$ を0.55とした場合の、規格化周波数と $a_{ov}/a$ との関係を説明するための図で、実線で囲まれた領域はTMモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、破線で囲まれた領域はTEモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、更に、斜線で示された領域はTMモードとTEモードに共通な偏波無依存のフォトニックバンドギャップに対応する領域である。この図から明らかなように、 $a_{ov}/a$ が0.32～0.50の範囲にあれば、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが存在し得ることとなる。

【0016】本実施例のフォトニック結晶では、規格化バンドギャップの大きさは、楕円柱の屈折率を3.50としたときに0.130となり、従来の蜂の巣構造のフォトニック結晶と比較して40%程度大きな規格化バンドギャップが得られている。

【0017】また、後述するように、楕円柱の屈折率を3.50以上としても偏波無依存のフォトニックバンドギャップは飽和や減少することなく増大し、更に、光の波長 $\lambda$ と格子定数 $a$ の間には $\omega a/2\pi c = a/\lambda$ の関係があり、フォトニック結晶が効果を奏する波長帯域は格子定数によって特定されるという利点を有する。

【0018】（実施例2）図4は、本発明のフォトニック結晶の他の構成例を説明するための図で、高屈折率の媒質41中の正方格子の格子点に正方形柱42を配列し、その格子間位置には円柱43が配列されており、これらの正方形柱42と円柱43は、例えば空気のように、媒質に比較して屈折率の低い物質で構成されている。

【0019】図5は、図4に示した本発明のフォトニック結晶の単位格子を説明するための図で、対角線の長さ

が $r_1$ の正方形柱51は、その中心が格子定数 $a$ の正方形格子点位置の中心に位置するように配置されており、その格子間位置に半径 $r_2$ の円柱52が配列されている。ここで、正方形柱51の回転角 $\theta$ は、正方形の対角線方向がX方向となす角度で定義される。なお、図4及び図5は、フォトニック結晶を構成する正方形柱列及び円柱列を真上から眺めた図であって、これらの正方形柱と円柱は格子定数 $a$ の4倍以上の高さを有している。

【0020】すなわち、このフォトニック結晶は、複数の低屈折率媒体が高屈折率媒質中に周期的に配列された屈折率変調構造を有するフォトニック結晶であって、正方形柱の複数の第1の低屈折率媒体と円柱の複数の第2の屈折率媒体とを備え、第1の低屈折率媒体の任意の正方形柱の周りには、柱方向と直交するXY方向の四方の各々に、距離 $a$ だけ離隔して第1の低屈折率媒体の正方形柱が平行に配置され、かつ、第1の低屈折率媒体の柱方向と直交する断面である正方形の対角線方向が相互に同一となるように方向付けられて配列されており、第2の低屈折率媒体は、第1の低屈折率媒体相互間の中央に第1の低屈折率媒体と平行に配置され、第1の低屈折率媒体の断面である正方形の対角線方向とX方向との成す角度が $\theta$ となるように構成されている。

【0021】図6は、図4に示した本発明のハイブリッド型フォトニック結晶のバンドギャップを説明するための図で、 $r_1/a=0.98$ 、 $r_2/a=0.26$ の場合の規格化周波数 $\omega a/2\pi c$ を縦軸にとり、正方形柱の回転角 $\theta$ を横軸にとってプロットしてある。

【0022】図6において、実線で囲まれた領域はTMモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、破線で囲まれた領域はTEモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、更に、斜線で示された領域は、TMモードとTEモードに共通な偏波無依存のフォトニックバンドギャップに対応する領域である。この図から明らかなように、正方形柱の回転角 $\theta$ が0度を除く $\pm 20$ 度の範囲内であれば、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが存在し得ることとなる。

【0023】図7は、図4に示した本発明のハイブリッド型フォトニック結晶の、 $r_2/a=0.26$ 、 $\theta=14.9$ 度の場合の規格化周波数と $r_1/a$ の関係を説明するための図である。

【0024】図7において、実線で囲まれた領域はTMモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、破線で囲まれた領域はTEモードに対するフォトニックバンドギャップに対応し、更に、斜線で示された領域は、TMモードとTEモードに共通な偏波無依存のフォトニックバンドギャップに対応する領域である。この図から明らかなように、 $r_1/a$ が0.50~1.00の範囲内であれば、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが存在し得ることとなる。

【0025】なお、このハイブリッド型フォトニック結

晶では、その規格化フォトニックバンドギャップが、正方形柱の屈折率3.50の場合で0.165とかなり大きな値が得られるとともに、光の波長 $\lambda$ と格子定数 $a$ との間には $\omega a/2\pi c=a/\lambda$ の関係があり、フォトニック結晶が効果を奏する波長帯域が格子定数によって特定されるという利点を有する。

【0026】(比較例)図8は、図1及び図4に示した本発明のフォトニック結晶と、図9に示した蜂の巣構造の従来のフォトニック結晶の、規格化された偏波無依存フォトニックバンドギャップ(縦軸)と高屈折率部分の屈折率(横軸)との関係を説明するための図である。

【0027】蜂の巣構造のフォトニック結晶のフォトニックバンドギャップは、高屈折率部分の屈折率が3.50以上になると減少するのに対して、本発明のフォトニック結晶のフォトニックバンドギャップは、何れの構造のフォトニック結晶においても、蜂の巣構造のフォトニック結晶に比較して大きなフォトニックバンドギャップを有し、かつ、高屈折率部分の屈折率が3.50以上でもバンドギャップの飽和や減少が認められない。

【0028】なお、本実施例では、本発明のフォトニック結晶を構成する低屈折率部分が屈折率1.00の空気の場合について説明したがこれに限定されるものではなく、高屈折率部分の屈折率に比較して屈折率の小さな物質であればよい。

【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のフォトニック結晶は、三角配列の格子点に屈折率の大きな楕円柱を配列した構造、又は、正方形格子の格子点に屈折率の小さな正方形柱を配列しその格子間位置に屈折率の小さな円柱を配列した構造としたので、偏波無依存のフォトニックバンドギャップが大きく、かつ、高屈折率部分の屈折率を大きくしてもバンドギャップの飽和や減少が生じないフォトニック結晶を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のフォトニック結晶の構成例を説明するための図である。

【図2】図1に示した本発明のフォトニック結晶の規格化周波数と $b_{ov}/a_{ov}$ の関係を説明するための図である。

【図3】図1に示した本発明のフォトニック結晶の規格化周波数と $a_{ov}/a$ の関係を説明するための図である。

【図4】本発明のフォトニック結晶の他の構成例を説明するための図である。

【図5】図4に示した本発明のフォトニック結晶の単位格子を説明するための図である。

【図6】図4に示した本発明のフォトニック結晶の規格化周波数と回転角の関係を説明するための図である。

【図7】図4に示した本発明のフォトニック結晶の規格化周波数と $r_1/a$ の関係を説明するための図である。

10

20

30

40

50

【図8】図1及び図4に示した本発明のフォトニック結晶と図9に示した従来のフォトニック結晶各々の、偏波無依存フォトニックバンドギャップと屈折率の関係を説明するための図である。

【図9】従来の蜂の巣構造のフォトニック結晶の構成を説明するための図である。

【符号の説明】

1 1 高屈折率部分

1 2 低屈折率部分

4 1 高屈折率の媒質

4 2 正方形柱

4 3 円柱

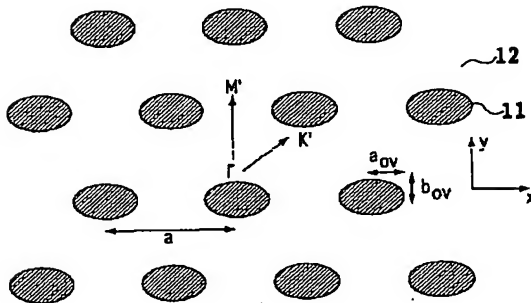
5 1 正方形柱

5 2 円柱

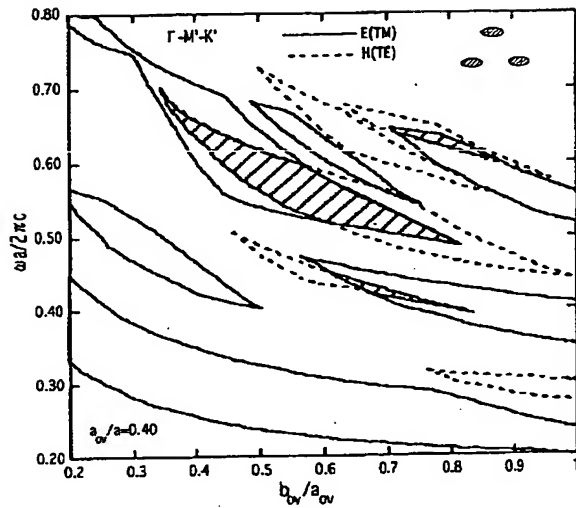
9 1 高屈折率部分

9 2 低屈折率部分

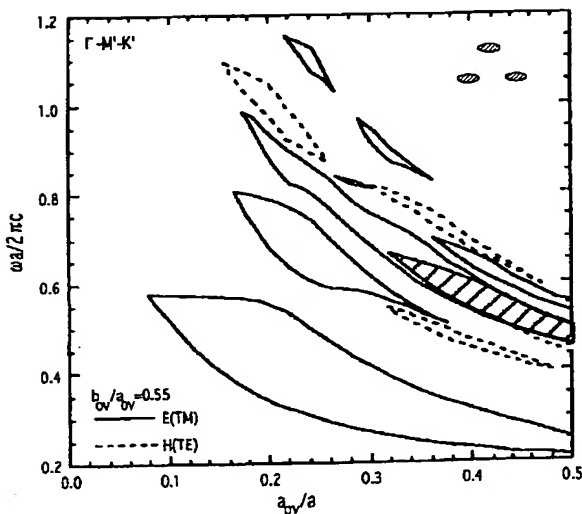
【図1】



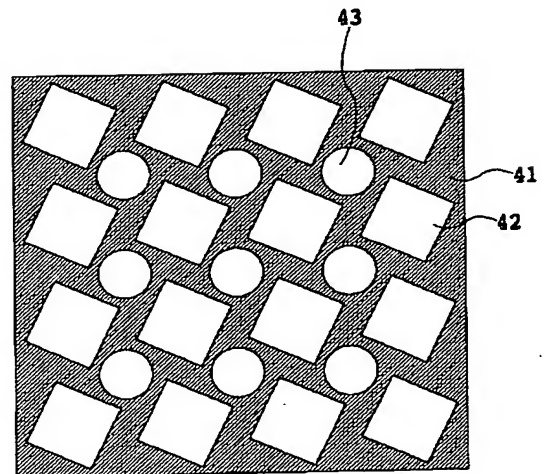
【図2】



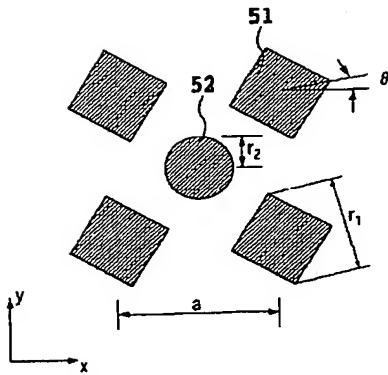
【図3】



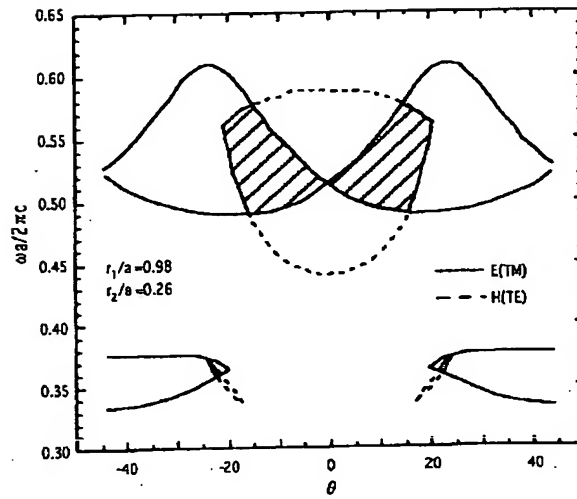
【図4】



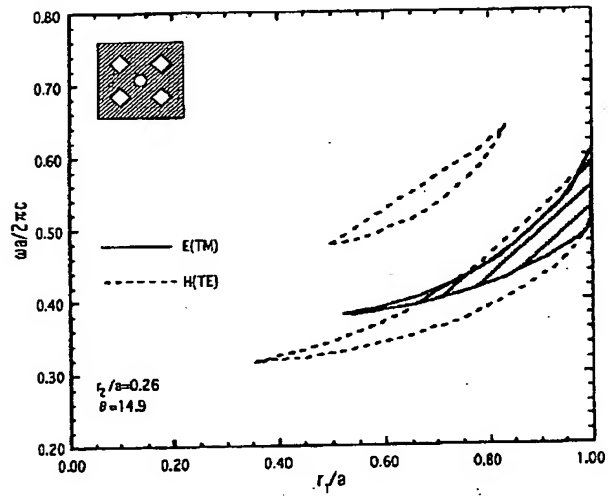
【図5】



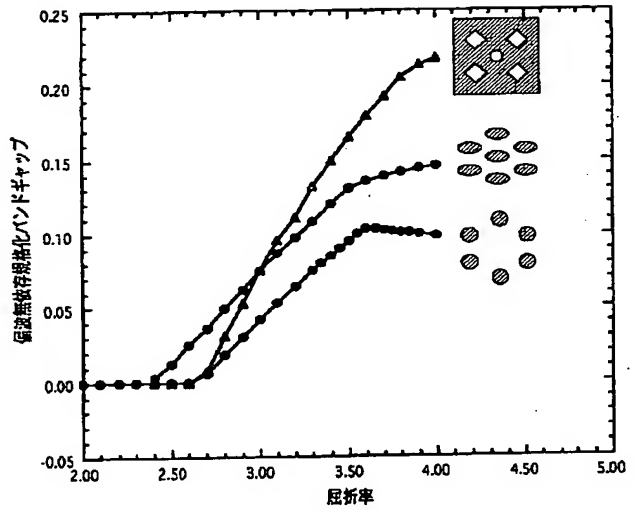
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

